



TITLE:

CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A STERIC PORE-
FLOW MODEL FOR PREDICTING REJECTION OF SMALL AND
UNCHARGED COMPOUNDS BY POLYIMIDE REVERSE
OSMOSIS MEMBRANES(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Haruka, Takeuchi

CITATION:

Haruka, Takeuchi. CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A STERIC PORE-FLOW MODEL FOR PREDICTING REJECTION OF
SMALL AND UNCHARGED COMPOUNDS BY POLYIMIDE REVERSE OSMOSIS MEMBRANES. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21308>

RIGHT:

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	竹内 悠
論文題目	CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A STERIC PORE-FLOW MODEL FOR PREDICTING REJECTION OF SMALL AND UNCHARGED COMPOUNDS BY POLYAMIDE REVERSE OSMOSIS MEMBRANES(RO 膜処理における低分子量物質の除去率予測手法の開発)		
<p>This thesis consists of nine chapters.</p> <p>Chapter 1 describes the background, objectives and structure of this thesis.</p> <p>Chapter 2 provides an introductory background of this work with focusing on incomplete rejection of N-nitrosamines by RO membranes. This chapter describes 1) the occurrence and fate of N-nitrosamines and their precursors in water reclamation processes including RO membrane treatment, 2) the removal characteristics of N-nitrosamines by RO membranes, 3) the structural properties of RO membranes, 4) the mathematical model describing solute transport through RO membranes, and 5) the research need.</p> <p>Chapter 3 deals with the occurrence and fate of N-nitrosamines and their formation potentials across integrated membrane systems deployed at three pilot-scale water reclamation plants. Removal efficiencies of N-nitrosamines and their formation potentials by UF, NF and RO membrane processes are evaluated. Further, the impacts of realistic operating conditions on N-nitrosamines rejection by pilot-scale RO process are assessed.</p> <p>Chapter 4 develops a new approach to predict the rejection of eight N-nitrosamines and seven VOCs through an RO membrane based on the steric pore-flow model. In this approach, solute rejection is predicted by estimating the free-volume hole-size of an RO membrane. The free-volume hole-radius was determined with pure water permeability of a membrane and a single reference compound by minimizing the variance between the experimentally obtained and calculated reference solute rejection values at a specific permeate flux. The estimated free-volume hole-radius was compared with the value previously determined by positron annihilation lifetime spectroscopy (PALS) analysis. The predictive model was validated using N-nitrosamines and VOCs rejection data obtained at a range of permeate flux conditions.</p> <p>Chapter 5 deals with the development of an extended model applicable to several RO membranes under a range of permeate flux and feed solution temperature. Based on the steric pore-flow model with the approach proposed in Chapter 4, the free-volume hole-radius of four RO membranes are estimated and the impact of the free-volume hole-radius on N-nitrosamines rejection are discussed. This chapter</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	竹内 悠
<p>also deals with the impact of feed solution temperature on free-volume hole-radius estimation and model prediction for N-nitrosamines rejection.</p> <p>Chapter 6 explains the effects membrane fouling on N-nitrosamines rejection by an RO membrane. The applicability of the steric pore-flow model for predicting the solute rejections by fouled RO membranes are evaluated.</p> <p>Chapter 7 presents the scale-up of the steric pore-flow model from laboratory-scale to pilot-scale. The predictive model was validated using N-nitrosamines rejection data obtained using three RO membrane elements receiving UF or MBR treated wastewater. The effects of permeate flux, feed solution temperature and membrane fouling on accuracy of model prediction for N-nitrosamines rejection were evaluated.</p> <p>Chapter 8 provides the theoretical explanation for the variable N-nitrosamines rejection observed by the RO membrane processes at the three water reclamation plants. While Chapter 3 presents possible cause for the variable N-nitrosamines rejection based on the statistics analysis, this chapter provides the theoretical explanation for the variable N-nitrosamines rejection based on the steric pore-flow model with the approach proposed in Chapter 4-7. The predictive model calculates the changes in membrane structural properties of the RO membrane element employed at one of the investigated water reclamation plant by using measured operating conditions. In addition, the impact of the changes in membrane structural properties on N-nitrosamines rejection by the RO membrane element are evaluated.</p> <p>Chapter 9 presents research conclusions and suggestions.</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、急激な人口増加、経済成長、都市化などのため、持続可能な水資源管理、環境管理やエネルギー管理の視点から、世界的に需要が高まっている下水の飲用再利用のための、安全かつ効率的な下水再生処理の実現を目指し、逆浸透（RO）膜処理における低分子量物質の除去率予測手法の開発を目的としたものである。これまで再生水の飲料利用には、RO 膜が多く使われてきたが、ニトロソアミン類など低分子の汚染物質は、その阻止率が大きく変動することが報告されている。再生水の飲料利用が世界的に広がりつつあるため、RO 膜の阻止率の変動要因を予測し、適切に設計、運用する必要がある。本研究で得られた結果を以下に記す。

1. 細孔モデルに基づき、単一条件下における単一物質の除去率の実測値とモデル推定値を比較し、RO 膜の空隙径を推定する手法を考案した。推定された空隙径でモデル計算し、分子サイズの異なる 8 種のニトロソアミン類と 7 種の揮発性物質の除去率予測を可能にした。
2. 複数の RO 膜を用いて同様の評価を行い、ニトロソアミン類の除去率は RO 膜の空隙径に大きく影響されることを明らかにした。この結果、RO 膜の構造特性と低分子量物質の除去性との関係は、より除去性能に優れた RO 膜の開発の一助となることを指摘した。
3. RO 膜処理での低分子量物質の除去率変動に大きく寄与する因子であるフラックス、水温、膜ファウリングの影響を反映したモデル計算手法を開発した。単一条件下で単一物質から推定された RO 膜の空隙径をモデル計算に用いることにより、フラックス変化時の 8 種のニトロソアミン類の除去率の変動の予測が可能であることを示した。また、水温変化に伴う空隙径変化をモデル計算に反映させることにより、水温変化時のニトロソアミン類の除去率の変動を精度よく予測することを可能にした。さらに膜ファウリングに伴う空隙数の減少をモデル計算に反映することにより、膜ファウリング進行時のニトロソアミン類の除去率を比較的精度よく予測することを可能にした。
4. 開発した除去率予測手法の適用性は、実験室スケール、さらにはパイロットスケールで検証され、高い実用性を有すると評価された。

以上、本研究は RO 膜処理における低分子量物質の除去率予測手法を開発し、開発した除去率予測手法の適用性を実験室スケール、さらにはパイロットスケールで検証しており、高い実用性をもつと評価される。持続可能な水資源の確保、環境やエネルギー管理の視点から、世界的に求められている下水の飲用利用のためのより安全かつ効率的な下水再生処理を実現する上で重要な成果となると考えられ、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 6 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。